

Тема

Основные правила конструирования, изготовления, монтажа и эксплуатации химического оборудования

Содержание

1. Подведомственность аппаратуры Ростехнадзору
2. Некоторые правила по устройству и изготовлению сварных аппаратов
3. Конструирование аппаратов из высоколегированных сталей
4. Конструирование эмалированных аппаратов
5. Конструирование аппаратов из неметаллических материалов
6. Краткий терминологический словарь к лекции

1. Подведомственность аппаратуры Ростехнадзору

Химическая аппаратура, подведомственная *Ростехнадзору*¹ (ранее Госгортехнадзор):

- сосуды, работающие под давлением пара воды с температурой выше 115°C или других нетоксичных, невзрывопожароопасных жидкостей при температуре, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа (0,7 кгс/см²) [для воды $t_{\text{кип}}=115$ °C при $p=0,175$ МПа];
- сосуды, работающие под давлением пара, газа или токсичных взрывоопасных жидкостей свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²);
- *баллоны*, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворённых газов под давлением свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²);
- *цистерны* и *бочки* для транспортирования или хранения сжатых и сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50°C превышает 0,07 МПа (0,7 кгс/см²);
- цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²) создаётся периодически для их опорожнения;
- *барокамеры*.

Аппаратура, неподведомственная Ростехнадзору:

- сосуды атомных энергетических установок, а также сосуды, работающие с радиоактивной средой;
- сосуды вместимостью не более 25 л (0,025 м³) независимо от давления, используемые для научно-экспериментальных целей (при определении вместимости из общей ёмкости сосуда исключается объём, занимаемый футеровкой и другими внутренними устройствами);
- группа сосудов, состоящая из отдельных корпусов и соединённые между собой трубами с внутренним диаметром более 100 мм, рассматриваются как один сосуд;

¹ Термины, выделенные *курсивом*, смотри в терминологическом словаре, приведённом в конце темы

- сосуды, баллоны вместимостью не более 25 л ($0,025 \text{ м}^3$), у которых произведение давления в МПа (кгс/см^2) на вместимость в м^3 (литрах) не превышает 0,02 (200);
- сосуды, работающие под давлением, создающимся при взрыве внутри них в соответствии с технологическим процессом или горении в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза;
- сосуды, работающие под вакуумом;
- сосуды, устанавливаемые на морских, речных судах и других плавучих средствах кроме *драг*;
- сосуды, устанавливаемые на самолётах и других летательных аппаратах;
- воздушные *резервуары* тормозного оборудования подвижного состава ж.-д. транспорта, автомобилей и др. средств передвижения;
- сосуды специального назначения военного ведомства;
- приборы парового и водяного отопления.
- *трубчатые печи*.
- сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без *коллекторов*, а также с коллекторами, выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм.
- части машин, не представляющие собой самостоятельных сосудов (корпуса *насосов* или *турбин*, цилиндры двигателей паровых, гидравлических, воздушных машин и *компрессоров*).

Конструирование, изготовление, монтаж и ремонт, техническая диагностика и эксплуатация аппаратов (сосудов), подведомственных Ростехнадзору, должны осуществляться в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утверждёнными Постановлением Ростехнадзора №91 от 11.06.2003 и Минюстом РФ 19.06.2003 (ПБ 03-584-03).

К конструкциям аппаратов, подведомственных «Правилам ПБ 03-584-03», предъявляются следующие общие требования:

1) Доступ для периодического внутреннего осмотра. Внутренний осмотр должен осуществляться: а) при наличии съёмных крышек путём их снятия их; б) при отсутствии съёмных крышек (рис. 1) – через специальные лазы или люки, располагаемые в местах, доступных для обслуживания. Лазы могут быть круглыми и овальными. Диаметр d в свету круглых лазов должен быть не менее 400 мм.

Размеры овальных лазов должны быть: больший – 400 мм, меньший – 325 мм (но не менее 300 мм).

Аппараты с $D_B \leq 800$ мм должны иметь круглые или овальные люки с размером меньшей оси 80 мм. В случае невозможности устройства таких люков, допускается установка меньших люков или выполнение отверстий, закрывающихся пробками на резьбе или фланцевыми заглушками.

2) Внутренние устройства в аппарате (мешалки, змеевики, тарелки, перегородки и др.), препятствующие осмотру должны быть, как правило, съёмными. В отдельных обоснованных случаях – по согласованию с Ростехнадзором – допускается внутренние устройства выполнять несъёмными.

Рубашки, применяемые для наружного обогрева или охлаждения аппарата, разрешается выполнять приварными.

3) Шарнирно-откидные или вставные болты, зажимные приспособления люков, лазов, крышек и фланцев должны быть предохранены от сдвига или ослабления. Опрокидывающиеся аппараты или отдельные устройства должны быть снабжены приспособлениями, предохраняющими от самоопрокидывания.

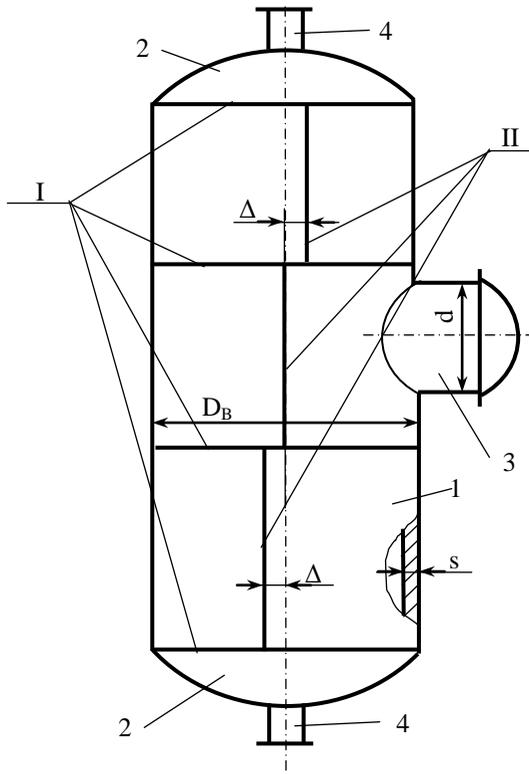


Рис. 1. Схема цельносварного аппарата: 1 – обечайка; 2 – днище; 3 – люк-лаз; 4 – штуцер; I – кольцевые швы; II – продольные швы; Δ – смещение швов

В зависимости от давления, температуры и свойств среды все аппараты в химической промышленности разбиты на 6 групп (1, 2, 3, 4, 5 а, 5 б). В таблице 1.

Таблица 1 – Группа сосуда

Группа	Расчетное давление, МПа (кгс/см ²)	Температура стенки, °С	Рабочая среда
1	Более 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1-го, 2-го классов опасности
2	Более 0,07 (0,7) до 2,5 (25)	Выше 400	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов
	Более 2,5 (25) до 5,0 (50)	Выше 200	
	Более 5,0 (50)	Независимо	
	Более 4,0 (40) до 5,0 (50)	Ниже минус 40	
3	Более 0,07 (0,7) До 1,6 (16)	Ниже минус 20 От 200 до 400	
	Более 1,6 (16) до 2,5 (25)	До 400	
	Более 2,5 (25) до 4,0 (40)	До 200	
	Более 4,0 (40) до 5,0 (50)	От минус 40 до 200	
4	Более 0,07 (0,7) до 1,6 (16)	От минус 20 до 200	
5а	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1, 2, 3-го классов опасности
5б	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывобезопасная или пожаробезопасная или 4-го класса опасности

2. Некоторые правила по устройству и изготовлению сварных аппаратов

Цельно сварной аппарат (см. рис. 1) состоит из цилиндрической *обечайки* и эллиптических *днищ*. Аппарат имеет *люк-лаз* 3 и два *штуцера* 4. Обечайка аппарата сварена из трёх частей кольцевыми швами I. Обечайки сварены из листовой заготовки продольными швами II.

2.1. Прибавки для компенсации коррозии (эрозии)

Прибавка к расчетной толщине для компенсации коррозии (эрозии) назначается с учетом условий эксплуатации, расчетного срока службы, скорости коррозии (эрозии).

Прибавку *c* для компенсации коррозии к толщине внутренних элементов

следует принимать:

2·с – для несъемных нагруженных элементов, а также для внутренних крышек и трубных решеток теплообменников;

0,5·с, но не менее 2 мм – для съемных нагруженных элементов;

с – для несъемных ненагруженных элементов.

Для внутренних съемных ненагруженных элементов прибавка для компенсации коррозии может не учитываться.

При наличии на *трубной решетке* или плоской *крышке* канавок прибавка для компенсации коррозии принимается с учетом глубины этих канавок.

Прибавка для компенсации коррозии не учитывается при выборе металлических прокладок для *фланцевых соединений*, болтов, опор, теплообменных труб и перегородок, теплообменных проставок и стояков.

Если невозможно или нецелесообразно увеличивать толщину стенки за счет прибавки для компенсации коррозии, выполняется коррозионная защита: *плакирование, футеровка или наплавка*.

2.2. Люки, лючки, бобышки и штуцера

Сосуды следует снабжать люками или смотровыми лючками, обеспечивающими осмотр, очистку, безопасность работ по защите от коррозии, монтаж и демонтаж разборных внутренних устройств, ремонт и контроль сосудов. Количество люков и лючков обосновывается в проекте. Люки и лючки располагаются в доступных для пользования местах.

Внутренний диаметр люка у сосудов, не имеющих корпусных фланцевых разъемов и подлежащих внутренней антикоррозионной защите неметаллическими материалами, принимается не менее 800 мм.

Допускается проектировать без люков:

сосуды, предназначенные для работы с веществами 1-го и 2-го классов опасности, не вызывающими коррозии и накипи, независимо от их диаметра, при этом следует предусматривать необходимое количество смотровых лючков;

сосуды с приварными рубашками, витые и кожухотрубчатые теплообменные аппараты независимо от их диаметра;

сосуды, имеющие съемные днища или крышки, а также обеспечивающие возможность проведения внутреннего осмотра без демонтажа трубопровода горловины или штуцера.

В каждом сосуде следует предусматривать бобышки или штуцера для наполнения водой и слива, удаления воздуха при гидравлическом испытании. Для этой цели могут использоваться технологические бобышки и штуцера.

Штуцера и бобышки на вертикальных сосудах следует располагать с учетом возможности проведения гидравлического испытания, как в вертикальном, так и в горизонтальном положении.

Для крышек люков массой более 20 кг следует предусматривать приспособления для облегчения их открывания и закрывания.

Расположение отверстий.

Расположение отверстий в эллиптических и полусферических днищах не регламентируется.

Отверстия для люков, лючков и штуцеров в сосудах 1, 2, 3, 4-й групп следует располагать вне сварных швов.

Расположение отверстий допускается на:

продольных швах цилиндрических и конических обечаек сосудов, если диаметр отверстий не более 150 мм;

кольцевых швах цилиндрических и конических обечаек сосудов без ограничения диаметра отверстий;

швах выпуклых днищ без ограничения диаметра отверстий при условии 100-процентной проверки сварных швов днищ радиографическим или ультразвуковым методом;

швах плоских днищ.

Отверстия не допускается располагать в местах пересечения сварных швов сосудов 1, 2, 3, 4-й групп.

Отверстия для люков, лючков, штуцеров в сосудах 5а и 5б групп допускается устанавливать на сварных швах без ограничения по диаметру.

2.3. Требования к внутренним и наружным устройствам

Внутренние устройства в сосудах (*змеевики, тарелки, перегородки* и др.), препятствующие осмотру и ремонту, выполняются съемными.

Внутренние приварные устройства конструируются так, чтобы было обеспечено удаление воздуха и полное опорожнение аппарата при гидравлическом испытании в горизонтальном и вертикальном положениях.

Рубашки, применяемые для наружного обогрева или охлаждения сосудов, могут быть съемными и приварными.

Во всех глухих частях сборочных единиц и элементов внутренних устройств следует предусматривать дренажные отверстия, располагая их в самых низких местах этих сборочных единиц и элементов для обеспечения полного слива жидкости.

2.4. Строповые устройства

Для сосудов, транспортируемых в собранном виде, а также транспортируемых частей следует предусматривать строповые устройства (захватные приспособления) для проведения погрузочно-разгрузочных работ, подъема и установки сосудов в проектное положение. В обоснованных случаях допускается использовать технологические штуцера и горловины, уступы, бурты и другие конструктивные элементы сосудов.

2.5. Требования к материалам

Материалы по химическому составу и механическим свойствам должны удовлетворять требованиям государственных стандартов, технических условий и Правил ПБ 03-584-73.

Качество и характеристики материалов должны подтверждаться соответствующими сертификатами.

При выборе материалов для изготовления сосудов (сборочных единиц,

деталей) следует учитывать: расчетное давление, температуру стенки (минимальную и максимальную), химический состав и характер среды, технологические свойства и коррозионную стойкость материалов (таблицы 2, 3).

Таблица 2 – Марки листовой стали для химического оборудования

Марка	ГОСТ	Рабочие условия	
		t, град С	p, МПа
Ст3кп2	380–2005, 14637–89	10...200	1,6
Ст3кп5, Ст3сп		0...425	5
16К, 18К, 20К, 22К	5520–79	–20...475	не огр.
15, 20	1050–88, 1577–93	–20...475	5
09Г2С, 10Г2С1	5520–79	–70...475	не огр.
17ГС, 17Г1С, 16ГС		–40...475	не огр.
12ХМ	5520–79, ТУ14-1-642	–40...540	не огр.
08Х18Н10	5632–72, 5582–75	–270...600	не огр.
12Х18Н10Т	5632–72, 7350–77	–270...610	не огр.
ХН65МВУ	ГУ14-1-4253	–70...500	5

Таблица 2 – Марки стали труб для химического оборудования

Марка; ГОСТ, ТУ	Полуфабрикат ГОСТ, ТУ	Рабочие условия	
		t, град С	p, МПа
Ст3сп3; 380–2005	водогазопроводные	0...200	1,6
10, 20; 1050–88	электросварные	–30...400	4
10, 20; 1050–88	550–75 группы А ¹ , Б ² 8733–74 группа В ³ 8731–87 группа В	–30...475	16
09Г2С; 19281–89	ТУ14-3-500	–60...475	не огр.
15ХМ; ТУ14-3-460	ТУ14-3-460	–40...560	не огр.
15Х5М, 15Х5ВФ; 20072–74	550–75 группы А, Б	–40...650	не огр.
12Х18Н10Т; 5632–72	9940–81; 9941–81	–270...610	не огр.
Примечания: 1 – группа А – трубы с нормированием механических свойств; 2 – группа Б– трубы с нормированием химического состава; 3 – группа В – трубы с нормированием механических свойств и химического состава			

Для сосудов, устанавливаемых на открытой площадке или в неотапливаемом помещении, при выборе материалов также следует учитывать:

абсолютную минимальную температуру наружного воздуха данного района, если температура стенки сосуда, находящегося под давлением, может стать отрицательной от воздействия окружающего воздуха;

среднюю температуру воздуха наиболее холодной пятидневки данного

района, если температура стенки сосуда, находящегося под давлением, положительная; при этом категория углеродистых и низколегированных сталей принимается не ниже рекомендуемых в таблице 3.

Таблица 3 – Категории сталей для сосудов в зависимости от средней температуры воздуха наиболее холодной пятидневки

Средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С	Марка стали
Не ниже минус 30	СтЗпс3, СтЗсп3, СтЗГпс3
	15К-3, 16К-3, 18К-3, 20К-3
От минус 31 до минус 40	СтЗпс4, СтЗсп4, СтЗГпс4
	15К-5, 16К-5, 18К-5, 20К-5
	16ГС-3, 09Г2С-3, 10Г2С1-3
От минус 41 до минус 60	09Г2С-8, 10Г2С1-8

Пределы применения двухслойной стали определяются по основному слою.

Допускается применение сталей марок 09Г2С, 10Г2С1 с испытанием на ударный изгиб при средней температуре воздуха наиболее холодной пятидневки для заданного района установки сосуда.

Элементы, привариваемые непосредственно к корпусу сосуда изнутри или снаружи (лапы, цилиндрические опоры, подкладки под фирменные таблички, опорные кольца под тарелки и др.), следует изготавливать из материалов того же класса, что и корпус.

Для приварных и неприварных внутренних элементов толщиной не более 10 мм для сосудов, работающих при температуре от минус 40 до 475 °С допускается применять листовую сталь и сортовой прокат марок СтЗкп2 и СтЗпс2.

Для материалов опорных частей сосудов, *кронштейнов* для крепления навесного оборудования и других деталей наружных приварных элементов выполняются требования таблицы 2.

2.6. Сварные соединения

При сварке обечайек и труб, приварке днищ к обечайкам следует применять *стыковые швы* с полным проплавлением.

Допускается применять *угловые и тавровые сварные соединения (угловые швы)* при приварке штуцеров, люков, труб, трубных решеток, плоских днищ и фланцев.

Допускается применять *нахлесточные сварные соединения (угловые швы)* для приварки укрепляющих колец и опорных элементов.

Не допускается применение *угловые и тавровые сварные соединения* для приварки штуцеров, люков, бобышек и других деталей к корпусу с неполным проплавлением (конструктивным зазором):

в сосудах 1, 2, 3-й групп при диаметре отверстия более 120 мм, в сосудах 4-й и 5а групп при диаметре отверстия более 275 мм;

в сосудах 1, 2, 3, 4-й и 5а групп из низколегированных марганцовистых и

марганцевокремнистых сталей с температурой стенки ниже минус 30 °С без термообработки и ниже минус 40 °С с термообработкой;

в сосудах всех групп, предназначенных для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание, независимо от диаметра патрубка, за исключением случаев, когда предусмотрена засверловка отверстия в зонах конструктивного зазора.

Сварные швы сосудов следует расположить так, чтобы обеспечить возможность их визуального осмотра и контроля качества неразрушающим методом (ультразвуковым, радиографическим и др.), а также устранения в них дефектов.

Допускается в сосудах 1, 2, 3, 4-й и 5а групп не более одного, в сосудах 5б группы не более четырех, в теплообменниках не более двух стыковых швов, доступных для визуального осмотра только с одной стороны. Швы необходимо выполнять способами, обеспечивающими провар по всей толщине свариваемого металла (например, с применением аргонодуговой сварки корня шва, *подкладного кольца, замкового соединения*). Возможность применения остающегося подкладного кольца и замкового соединения в сосудах 1-й группы следует обосновывать в проекте в установленном порядке.

Продольные сварные швы горизонтально устанавливаемых сосудов следует располагать вне центрального угла 140° нижней части корпуса, если нижняя часть недоступна для визуального осмотра, о чем должно быть указано в проекте. Сварные швы сосудов не следует перекрывать опорами. Перекрытие мест пересечения швов не допускается. Продольные швы обечаек не должны быть продолжением меридиональных швов днищ. Смещение швов (см. рис. 1) $\Delta = 3 \cdot s$, не менее 100 мм.

При сварке стыковых сварных соединений элементов разной толщины необходимо предусмотреть плавный переход от одного элемента к другому постепенным утонением более толстого элемента. Угол скоса α элементов разной толщины (рисунок 2, *а, б, в, г, е*) должен быть не более 20° (уклон 1 : 3). Сварку патрубков разной толщины допускается выполнять в соответствии с рис. 2, *д, е*. При этом расстояние l должно быть не менее толщины S , но не менее 20 мм, а радиус $r \geq S_2 - S$.

Допускается выполнять сварку стыковых швов без предварительного утонения более толстого элемента, если разность в толщинах соединяемых элементов не превышает 30 % толщины более тонкого элемента, но не более 5 мм; при этом форма шва должна обеспечивать плавный переход от толстого элемента к тонкому.

В сосудах, выполняемых из двухслойной стали, скос кромок осуществляется со стороны основного слоя.

Смещение кромок B листов (рисунок 3), измеряемое по срединной поверхности, в стыковых соединениях, определяющих прочность сосуда, не должно превышать $B = 0,1 S$, но не более 3 мм (S - наименьшая толщина

свариваемых листов).

Смещение кромок в кольцевых швах монометаллических сосудов, а также в кольцевых и продольных швах биметаллических сосудов со стороны коррозионностойкого слоя не должно превышать величин, указанных в таблице 3.

Смещение кромок свариваемых заготовок днищ не должно превышать $0,1 S$, но не более 3 мм (S - толщина листа), а днищ из двухслойных сталей со стороны плакирующего слоя не должно превышать величин, указанных в таблице 4.

К стыковым соединениям, определяющим прочность сосуда, следует относить продольные швы обечаек, хордовые и меридиональные швы выпуклых днищ.

При измерении смещения B кромок листов толщиной S и S_1 в стыковых соединениях следует учитывать, что:

$$B_1 \leq 0,5 (S_1 - S) + B ; \quad B_2 \leq 0,5 (S_1 - S) - B ,$$

где B_1 и B_2 - расстояния между кромками листов.

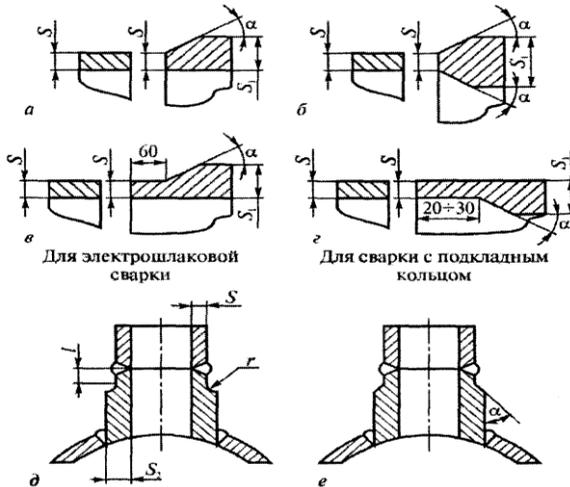


Рис. 2. Стыковка элементов разной толщины

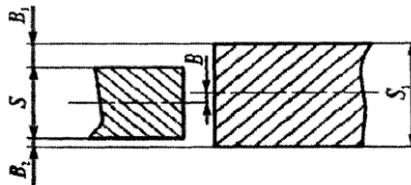


Рис. 3. Смещение кромок

Таблица 4 – Смещение кромок в кольцевых швах сосудов, выполняемых всеми видами сварки, за исключением электрошлаковой

Толщина свариваемых листов S , мм	Максимально допустимое смещение стыкуемых кромок, мм	
	в кольцевых швах на монометаллических сосудах	в кольцевых и продольных швах на биметаллических сосудах со стороны коррозионностойкого слоя
До 20	$0,1 S^{1)}$	50 % толщины плакирующего слоя
Свыше 20 до 50	$0,15 S$, но не более 5	50 % толщины плакирующего слоя
Свыше 50 до 100	$0,04 S + 3,5^{1)}$	$0,04 S + 3,0$, но не более толщины плакирующего слоя
Свыше 100	$0,025 S + 5,0$, но не более $10^{1)}$	$0,025 S + 5,0$, но не более 8 мм и не более толщины плакирующего слоя

¹⁾ При условии наплавки с уклоном 1 : 3 на стыкуемые поверхности для сварных соединений, имеющих смещение кромок более 5 мм.

2. 7. Термическая обработка сосудов

Сосуды (сборочные единицы, детали) из углеродистых и низколегированных сталей, изготовленные с применением сварки, штамповки или вальцовки, подлежат термической обработке, если:

а) толщина стенки цилиндрического или конического элемента, днища, фланца или патрубка сосуда в месте их сварного соединения более 36 мм для углеродистых сталей и более 30 мм для низколегированных марганцевистых и марганцевокремнистых сталей (марок 16ГС, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2 и др.);

б) номинальная толщина стенки S цилиндрических или конических элементов сосуда (патрубка), изготовленных из листовой стали вальцовкой (штамповкой), превышает величину, вычисленную по формуле

$$S = 0,009 (D + 1200),$$

где D - минимальный внутренний диаметр элемента, мм.

в) сосуды (сборочные единицы, детали) предназначены для эксплуатации в средах, вызывающих коррозионное растрескивание (жидкий аммиак, аммиачная вода, растворы едкого натрия и калия, азотнокислого натрия, калия, аммония, кальция, этаноламина, азотной кислоты и др.) и об этом есть указание в проекте;

г) днища сосудов и их элементов, независимо от толщины, изготовленных холодной штамповкой или холодным *фланжированием*;

д) необходимость термической обработки обосновывается в проекте.

Для снятия остаточных напряжений в соответствии с требованиями

подпунктов «а», «б» допускается в обоснованных случаях вместо термической обработки применять другие методы, например, метод пластического деформирования.

Сварные соединения из углеродистых, низколегированных марганцевистых, марганцевокремнистых и хромомолибденовых сталей, выполненные электрошлаковой сваркой, подлежат *нормализации* и *высокому отпуску*, за исключением случаев, указанных в документации.

При электрошлаковой сварке заготовок штампуемых и вальцуемых элементов из сталей марок 16ГС, 09Г2С и 10Г2С1, предназначенных для работы при температуре не ниже минус 40 °С, нормализация может быть совмещена с нагревом под штамповку с окончанием штамповки при температуре не ниже 700 °С.

Сосуды (сборочные единицы, детали) из сталей марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 10Х2М1А-А, 10Х2ГНМ, 15Х2МФА-А, 1Х2М1, 15Х5, Х8, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ, Х9М и из двухслойных сталей с основным слоем из сталей марок 12МХ, 12ХМ, 20Х2М, подвергнутые сварке, необходимо термообработать независимо от диаметра и толщины стенки.

Сосуды (сборочные единицы, детали) из сталей марок 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б и других аустенитных сталей, стабилизированных титаном или ниобием, предназначенные для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание, а также при температурах выше 350 °С в средах, вызывающих *межкристаллитную коррозию*, подвергаются термической обработке по требованию, оговоренному в проекте.

При определении толщины свариваемого элемента принимается вся толщина двухслойной стали.

При наличии в проекте требования на стойкость против межкристаллитной коррозии технология сварки и режим термообработки сварных соединений двухслойных сталей должны обеспечивать стойкость сварных соединений коррозионностойкого слоя против межкристаллитной коррозии.

Днища и детали из углеродистых и низколегированных марганцевокремнистых сталей, штампуемые (вальцуемые) в горячую с окончанием штамповки (вальцовки) при температуре не ниже 700 °С, а также днища и детали из аустенитных хромоникелевых сталей, штампуемых (вальцуемых) при температуре не ниже 850 °С, термической обработке не подвергаются, если к указанным материалам не предъявлены специальные требования.

Днища и другие штампуемые (вальцуемые) в горячую элементы, изготавливаемые из сталей марок 09Г2С, 10Г2С1, работающие при температуре от минус 41 °С до минус 70 °С, следует подвергать термической обработке - нормализации или закалке и высокому отпуску.

Днища и другие элементы из низколегированных сталей марок 12ХМ и 12МХ, штампуемые (вальцуемые) в горячую с окончанием штамповки

(вальцовки) при температуре не ниже 800 °С, допускается подвергать только отпуску (без нормализации).

Технология изготовления днищ и других штампуемых элементов должна обеспечивать необходимые механические свойства, указанные в стандартах или технических условиях, а при наличии требования в проекте и стойкость против межкристаллитной коррозии.

Возможность совмещения нормализации с нагревом под горячую штамповку днищ из сталей, работающих при температуре от минус 41 °С до минус 70 °С, определяется в обоснованных случаях.

Допускается не подвергать термической обработке горячештампованные днища из аустенитных сталей с отношением внутреннего диаметра к толщине стенки более 28, если они не предназначены для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание.

Днища и другие элементы, выполненные из коррозионностойких сталей аустенитного класса методом холодной штамповки или холодным фланжированием, следует подвергать термической обработке (аустенизации или стабилизирующему отжигу), если они предназначены для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание. В остальных случаях термообработку допускается не проводить, если относительное удлинение при растяжении в исходном состоянии металла не менее 30 % при степени деформации в холодном состоянии не более 15 %.

Гнутые участки труб из углеродистых и низколегированных сталей с наружным диаметром более 36 мм подлежат термообработке, если отношение среднего радиусагиба к номинальному наружному диаметру трубы составляет менее 3,5, а отношение номинальной толщины стенки трубы к ее номинальному диаметру превышает 0,05.

Приварка внутренних и наружных устройств к сосудам, подвергаемым термической обработке, должна проводиться до термической обработки сосуда.

Допускается местная термическая обработка сварных соединений сосудов, при проведении которой следует обеспечивать равномерный нагрев и охлаждение по всей длине шва и прилегающих к нему зон основного металла.

Ширина зоны нагрева определяется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации по промышленной безопасности. Объемная термическая обработка производится в печах или путем нагрева сосуда (сборочной единицы, детали) вводом во внутреннюю полость теплоносителя.

При термообработке проводятся мероприятия, предохраняющие сосуд (сборочную единицу, деталь) от деформаций, вызванных местным перегревом, неправильной установкой сосуда, действием собственного веса сосуда.

Свойства металла обечаек, днищ, патрубков, решеток после всех циклов термической обработки должны соответствовать установленным требованиям.

Контроль механических свойств основного металла можно не проводить в том случае, если температура отпуска металла не превышает:

650 °С - для сталей марок Ст3, 20К, 16ГС, 09Г2С;

710 °С - для сталей марок 12ХМ, 12МХ.

Если элементы сосудов из углеродистых и низколегированных сталей подвергаются нормализации или нормализации и последующему отпуску, или *закалке* и последующему отпуску, то проводится только испытание на ударный изгиб при рабочей температуре сосуда ниже 0 °С.

8. Конструирование аппаратов из высоколегированных сталей

Перегрев легированных сталей при сварке приводит к выгоранию легирующих элементов. Высоколегированная сталь при этом может потерять химическую стойкость металла шва и *зоны термического влияния*. Конструкция сварного соединения должна обеспечивать одновременное расплавление соединяемых деталей. Это достигается равнотолщиностью соединяемых деталей (рисунок 4).

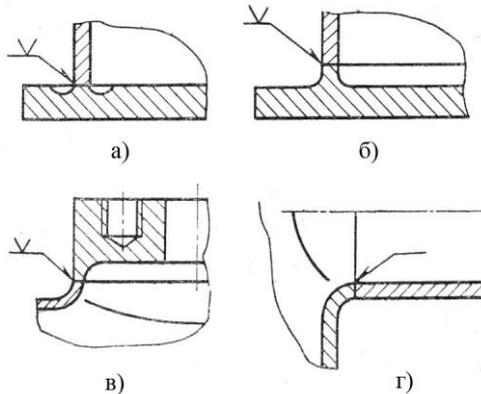


Рис. 4. Конструктивное оформление сварных узлов деталей из высоколегированных сталей созданием равнотолщинности: а) обечайка и трубная решётка с проточками; б) обечайка и трубная решётка с выступом; в) обечайка и бобышка; г) обечайка и патрубок фланца

При сварке тонкостенных деталей из разнородных сталей (высоколегированная и углеродистая) возможно изменение состава направленного металла, что может привести к потере его коррозионной стойкости ($Cr < 13\%$). Для устранения возможности появления такого

явления между соединяемыми деталями устанавливается промежуточный элемент из высоколегированной стали (рисунок 5).

3. Конструирование аппаратов из цветных металлов и сплавов

В химическом аппаратостроении широко применяются цветные металлы и сплавы, в частности медь и алюминий. Медные аппараты чаще всего применяются в установках *глубокого холода*. Их изготавливают из медного проката. Для увеличения поперечной жёсткости медных тонкостенных обечаек их выполняют с гофрами (рисунок 6, а).

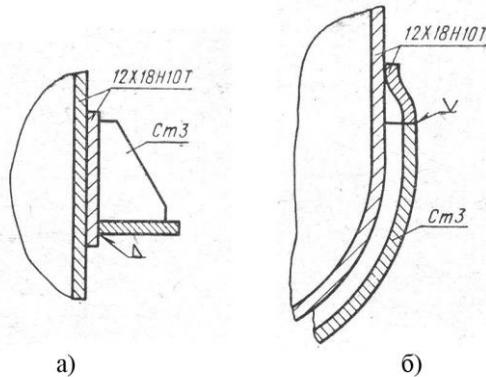


Рис. 5. Конструктивное оформление сварных узлов деталей из разнородных сталей с использованием промежуточного элемента из высоколегированной стали: а) крепление лапы; б) крепление рубашки

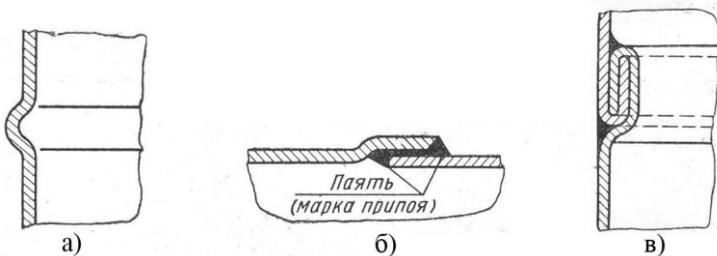


Рис. 6. Конструктивное оформление узлов медных аппаратов: а) гофра для увеличения жёсткости тонкостенной обечайки; б) конструкция паяного соединения внахлестку; в) выполнение нахлесточного паяного соединения фальцем

Неразъёмные соединения частей медных аппаратов получают пайкой (мягкими и твёрдыми припоями), сваркой и клёпкой. Для пайки силовых элементов применяют Cu-Zn припои марок ПМЦ-47, ПМЦ-52. Пайку

мягкими Sn–Pb припоями (ПОС–30, ПОС–40) выполняют внахлестку (рис. 6, б). Для увеличения прочности паяных обечаек применяют замки или фальцы (рис. 6, в).

Конструкция алюминиевой аппаратуры должна учитывать низкую механическую прочность алюминия и интенсивное окисление при нарушении окисной плёнки. Фланцы выполняются стальными на отбортовке (рис. 7) при любых диаметрах.

Опоры алюминиевых аппаратов выполняют из стали и приваривают к разъёмному стальному кольцу, которое стягивается болтами. Сварные соединения выполняют стыковыми швами при соблюдении равнотолщинности соединяемых элементов.

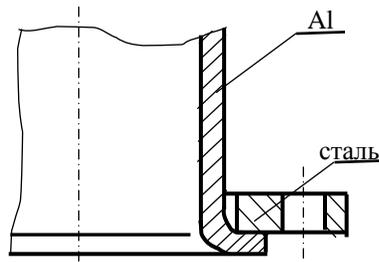


Рис. 7. Стальной свободный фланец на отбортовке для алюминиевого аппарата

4. Конструирование эмалированных аппаратов

Эмалевое покрытие наносится для защиты поверхности аппарата, контактирующей с рабочей средой, от коррозии, истирания, высоких температур и т.п. В качестве конструкционных материалов для изготовления эмалированных аппаратов применяют стали 08, 10 или чугун СЧ15. Технология эмалирования требует простой и плавной по очертаниям поверхности, подлежащей эмалированию, отсутствия острых углов, краёв и впадин.

Узлы должны быть равностенными, не допускать наличия массивных деталей. Опоры (лапы и стойки) приваривают после эмалирования к специальным накладкам, которые присоединяют к корпусу до эмалирования (рисунок 8, а, б).

Штуцера выполняют с коническими патрубками, привариваемыми встык к краю отбортованного отверстия (рисунок 8 в). На патрубках устанавливают малогабаритные фланцы с втулкой. Аппаратные фланцы изготавливают под стяжные зажимы (рисунок 9). Зажим состоит из двух взаимозаменяемых *траверс* 1, которые стягиваются болтом 2 и гайкой 3. Специальные пазы и выступы в траверсах зажима исключают возможность изгиба болтов

5. Конструирование аппаратов из неметаллических материалов

Элементы аппаратов из термореактивных материалов (*реактопластов*) изготовляют формованием из мягких листов и *отверждением* термической обработкой при соответствующей температуре.

Элементы аппаратов из термопластичных материалов (*термопластов*) формуют из листов, предварительно нагретых до температуры размягчения, затем склеивают или сваривают.

При конструировании элементов из пластмасс, изготавливаемых прессованием, им необходимо придать форму, которая обеспечивает обтекаемость, минимальный расход материалов, лёгкость извлечения изделий из *пресс-формы*. Стенки пластмассовых изделий должны плавно сопрягаться, края деталей должны быть прочными, но без чрезмерных утолщений (рисунок 10, а, б).

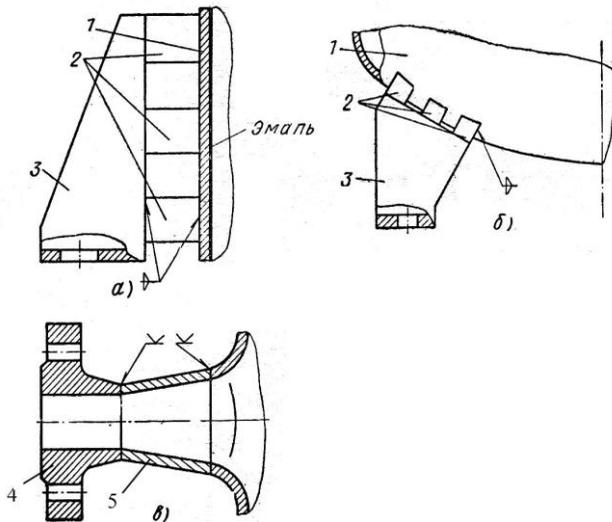


Рис. 8. Конструктивное оформление узлов эмалированных аппаратов: а, б – с приварными лапами; в – с приварным штуцером; 1 – корпус; 2 – накладка; 3 – лапа; 4 – фланец штуцера; 5 – конический патрубок штуцера

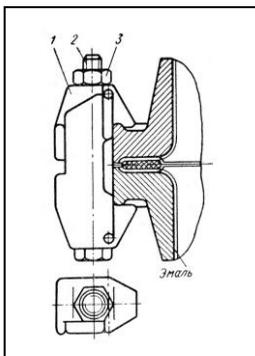


Рис. 9. Зажим для соединения фланцев эмалированных аппаратов: 1 – траверса; 2 – стяжной болт; 3 – гайка

Отверстия изготовляют формовкой или сверлением. Резьбу в деталях при диаметре отверстия больше 5 мм выполняют прессованием; применяют метрическую или круглую резьбу.

Элементы аппаратов рассчитывают на прочность по тем же формулам, что и стальные.

Опорами для вертикальных аппаратов (рисунок 10, в) служат стальные лапы, которые крепят к стальному разъёмному бандажу. Нагрузка от массы аппарата передаётся опорам через приварное кольцо, опирающееся на бандаж.

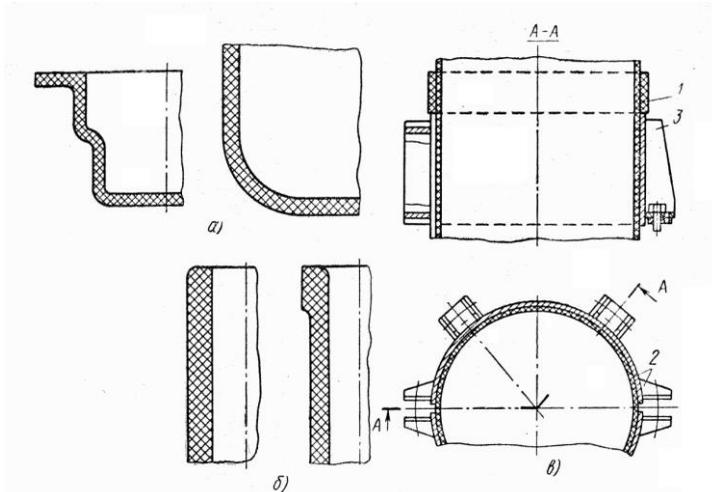


Рис. 10. Конструктивное оформление узлов аппаратов из пластмасс: а – сопряжение стенок; б – оформление края детали; в – крепление опоры; 1 – приварное кольцо бандажа; 2 – бандаж; 3 – стальная лапа

6. Краткий терминологический словарь к лекции Основные правила конструирования, изготовления, монтажа и эксплуатации химического оборудования

Аппарат – сосуд, оборудованный внутренними устройствами, предназначенный ведения химико-технологических процессов (РД 26–18–89).

Баллон – передвижной сосуд, имеющий одну или две горловины для установки вентилей или штуцеров, предназначенный для транспортирования,

хранения и использования сжатых, сжиженных или растворенных под давлением газов (РД 26–18–89).

Барокамера – герметически закрываемая камера, в которой искусственно создаётся пониженное (вакуумная *Б.*) или повышенное (компрессионная *Б.*) давление.

Бобышка – местное утолщение стенки сосуда или приваренная деталь, выполняющая роль местного утолщения, позволяющее осуществить присоединение к сосуду трубопроводов, трубопроводной арматуры контрольно-измерительных приборов и других элементов (РД 26–18–89).

Бочка – передвижной сосуд цилиндрической или другой формы, который можно перекачивать с одного места на другое и ставить на торцы без дополнительных опор, предназначенный для транспортирования и хранения жидких и других веществ. цилиндрический сосуд для хранения и транспортирования жидкостей (объём до $0,5 \text{ м}^3$) (РД 26–18–89).

Гофр – волна на боковой поверхности обечайки для придания оболочке поперечной жёсткости. *Г.* получают прокаткой с использованием валков специальной формы.

Долговечность – свойство изделия (технического устройства) сохранять работоспособность (при установленной системе технического обслуживания и ремонтов) до наступления предельного состояния. Количественно оценивается, например, техническим ресурсом.

Днище – неотъемная часть корпуса сосуда, ограничивающая внутреннюю полость с торца (РД 26–18–89).

Драга – плавучий горно-обогащительный комплекс, производящий подводную разработку обводнённых россыпных месторождений полезных ископаемых, их обогащение и укладку пустой породы в отвалы.

Закалка – вид термической обработки материалов (нагрев, а затем ускоренное охлаждение). *З.* углеродистой и низколегированной стали приводит к получению в её структуре мартенсита, характеризующегося высокой твёрдостью. *З.* высоколегированных сталей типа 12Х18Н10Т называется аустенизацией. В данном случае *З.* используется для получения в изделии однородного твёрдого раствора аустенита.

Змеевик – теплообменное устройство, выполненное в виде изогнутой трубы (РД 26–18–89).

Зона термического влияния – область основного металла, прилегающая к сварочному шву, в которой возможна полная или частичная закалка металла, что может привести к образованию холодных трещин при сварке.

Класс опасности вредных веществ — условная величина, предназначенная для упрощённой классификации потенциально опасных веществ. Класс опасности устанавливается в соответствии с нормативными отраслевыми документами. Для разных объектов — для химических веществ, для отходов, для загрязнителей воздуха и др. — установлены различные нормативы и показатели.

Коллектор – техническое устройство, представляет собой элемент сосуда, собирающий среду из других полостей сосуда для дальнейшего транспортирования (канализационные *К.*, оросительные *К.* и др.).

Компрессор – машина для сжатия воздуха или газа до избыточного давления не ниже 0,015 МПа (0,15 кгс/см²).

Коррозия металлов – разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней (коррозионной) средой.

Крышка – отъемная часть сосуда, закрывающая внутреннюю полость (РД 26–18–89).

Кронштейн – консольная опорная деталь или конструкция для крепления на вертикальной стене или колонне выступающих или выдвинутых в горизонтальном направлении частей машин или аппаратов.

Люк-лаз – устройство, обеспечивающее доступ во внутреннюю полость аппарата (РД 26–18–89).

Моральный износ – уменьшение стоимости в результате старения находящихся в эксплуатации изделий (машин, бытовых товаров и др.) независимо от того, снизилась или не снизилась их физическая пригодность.

М. и. – следствие трёх причин: снижения себестоимости производства (и соответственно цены) таких же изделий в результате повышения производительности труда в соответствующей отрасли; появления технически более совершенных изделий; изменения потребительских требований, связанных со вкусом, модой.

Наплавка – нанесение слоя металла на деталь или режущую часть инструмента методами газовой, дуговой, электрошлаковой или др. сварки для образования более прочного, износостойкого и кислотостойкого поверхностного слоя, а также для восстановления изношенной поверхности.

Насос – гидромашина (аппарат, система) для напорного перемещения гл. образом капельной жидкости (в. т.ч. с твёрдыми и газообразными включениями) в результате преобразования подводимой энергии в гидравлическую (механическую) энергию потока жидкости.

Нормализация – термическая обработка стали, заключающаяся в её нагреве до температуры аустенитного состояния (примерно до 750...950 °С), выдержке и последующем охлаждении на воздухе. *Н.* производят для повышения механических свойств стали, а также для улучшения обрабатываемости резанием.

Обечайка – цилиндрическая или коническая оболочка замкнутого профиля, открытая с торцов (РД 26–18–89).

Отверждение – необратимый переход жидких олигомеров или (и) мономеров в твёрдые неплавкие и нерастворимые (сетчатые) полимеры. *О.* – важная технологическая операция при формовании изделий из реактопластов, герметизации заливочными компаундами, получении клеевых соединений и лакокрасочных покрытий.

Отпуск металлов – вид термической обработки сплавов, осуществляемый после закалки, в результате которой образуется мартенсит (при сварке мартенсит образуется в зоне термического влияния сварного шва). При *О.* сплав нагревают до некоторой температуры с последующим охлаждением (как правило, на воздухе или в воде). Различают низкий (120...250 °С), средний (300...400 °С) и высокий (450...650 °С) *О.* Выбор режима отпуска определяется требуемым соотношением прочности и пластичности металла изделия.

Плакирование – нанесение на поверхность металлических листов, плит, проволоки, труб тонкого слоя другого металла или сплава термомеханическим способом. *П.* осуществляется в процессе горячей прокатки (например, *П.* листов и плит) или прессования (*П.* труб). Применяется для получения биметалла (одностороннее *П.*) и триметалла (двустороннее *П.*), создания антикоррозионного слоя алюминия на полуфабрикатах из алюминиевых сплавов, нанесения латунного покрытия на листы стали (вместо электролитического покрытия) и т.д.

Подкладное кольцо – кольцо, устанавливаемое внутри трубы, используемое для стыковки труб при сварке (РД 38.13.004–86).

Пресс-форма – приспособление для изготовления объёмных изделий из пластмасс и др. материалов низкой твёрдости, в также формования изделий из порошковых материалов путём прессования. *П.-ф.* представляет собой две металлические плиты с полостью, соответствующей конфигурации изделия.

Реактопласты – пластические массы, переработка которых в изделия сопровождается необратимой химической реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого вещества. Наиболее распространены *Р.* на основе феноло-формальдегидных смол, эпоксидных смол и др.

Резервуар – стационарный сосуд, предназначенный для хранения газообразных, жидких и других веществ (РД 26–18–89). Распространены металлические и ж.-б. *Р.*, реже каменные, деревянные, из полимерных материалов.

Работоспособность – состояние изделия, при котором в данный момент времени его основные параметры, характеризующие способность изделия выполнять заданные функции, находятся в пределах, установленных требованиями нормативно-технической документации.

Ремонтпригодность – свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, отысканию и устранению причин и последствий повреждений (отказов) путём проведения технического обслуживания и ремонтов.

Ростехнадзор – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. *Р.* является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в

установленной сфере деятельности, а также в сфере технологического и атомного надзора, функции по контролю и надзору в сфере безопасного ведения работ, связанных с пользованием недрами, промышленной безопасности, безопасности при использовании атомной энергии (за исключением деятельности по разработке, изготовлению, испытанию, эксплуатации и утилизации ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения), безопасности электрических и тепловых установок и сетей (кроме бытовых установок и сетей), безопасности гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений), безопасности производства, хранения и применения взрывчатых материалов промышленного назначения, а также специальные функции в области государственной безопасности в указанной сфере.

Рубашка – теплообменное устройство, состоящее из оболочки, охватывающей корпус сосуда или его часть, и образующее совместно со стенкой корпуса сосуда полость, заполненную теплоносителем (РД 26–18–89).

Соединение сварное замковое – сварное соединение стыковое без скоса кромок типа С6 (ГОСТ 5264–80).

Соединение сварное нахлесточное – сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга (ГОСТ 2601–84).

Соединение сварное стыковое – сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями (ГОСТ 2601–84).

Соединение сварное тавровое – сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента (ГОСТ 2601–84).

Соединение сварное угловое – сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краёв (ГОСТ 2601–84).

Сосуд – изделие (устройство), имеющее внутреннюю полость, предназначенное для ведения технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ (РД 26–18–89).

Строповые устройства – приварные элементы корпуса аппарата, служащие для обеспечения надёжности и безопасности строповки аппаратов канатами, цепями и др. при подъёме и перемещении их при монтаже и демонтаже, а также ремонте. В качестве строповых устройств вертикальных аппаратов используют крюки, цапфы и монтажные штуцера, размещаемые на боковых стенках, в также ушки, размещаемые на крышках аппаратов.

Тарелка массообменного аппарата – отбортованный металлический диск с устройствами (отверстия, клапаны, колпачки) для ввода пара (газа) на T . и слива жидкости.

Термопласты – пластмассы, способные размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении. Т.: полиэтилен, полипропилен, полистирол и др.

Технологичность – соответствие изделия требованиям производства и эксплуатации. Различают производственную и эксплуатационную Т. Технологичным считается изделие, для которого минимизированы затраты на производство и эксплуатацию.

Траверса – горизонтальная деталь, являющаяся частью различных конструкций и машин (главным образом станин) и работающая преимущественно на изгиб.

Трубчатая печь – аппарат для высокотемпературного нагрева среды, состоящий из труб (змеевиков).

Трубная решётка – перфорированная круглая пластина, в отверстиях которой закреплены трубы.

Турбина – двигатель с вращательным движением рабочего органа – ротора и непрерывным рабочим процессом, преобразующий в механическую работу энергию подводимого рабочего тела – пара, газа или жидкости.

Фальц – место соединения деталей из тонколистового металла путём совместного загиба кромок.

Фланжирование – способ пластической обработки металла давлением, при котором заданный профиль формируется накаткой из круглой плоской заготовки. Ф. применяется во многих отраслях промышленности, где возникает необходимость получить бесшовное изделие сферической, торосферической или эллиптической формы.

Фланцевое соединение – неподвижное разъемное соединение оболочек, герметичность которого обеспечивается путем сжатия уплотнительных поверхностей непосредственно друг с другом или через посредство расположенных между ними прокладок из более мягкого материала, сжатых крепежными деталями (РД 26–18–89).

Футеровка – защитная внутренняя облицовка (из кирпичей, плит, блоков, а также набивная и др.) тепловых агрегатов, печей, топок, труб, ёмкостей и т.д. Различают Ф. огнеупорные (шамотные, диасовые, магнезитовые, доломитовые и др.), химически стойкие и теплоизоляционные.

Цистерна – передвижной сосуд, постоянно установленный на раме железнодорожного вагона, на шасси автомобиля (прицепа) или на других средствах передвижения, предназначенный для транспортирования газообразных, жидких и других веществ (РД 26–18–89). Вместимость автомобильных Ц. – 1,5...5 м³; ж.-д. Ц. до 140 м³.

Шов кольцевой – стыковой сварной шов обечайки или днища, перпендикулярный образующей оболочки.

Шов продольный – стыковой сварной шов обечайки или днища, параллельный образующей оболочки.

Шов стыковой – сварной стыкового соединения (ГОСТ 2601–84).

Шов угловой – сварной шов углового, нахлесточного и таврового соединения (ГОСТ 2601–84).

Штуцер – устройство, предназначенное для присоединения к сосуду трубопроводов, трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и т.п. (РД 26–18–89).

Эмаль – прочное стеклообразное покрытие, наносимое на поверхность изделия электрохимическим способом. Э. наносится для защиты поверхности аппарата, контактирующей с рабочей средой, от коррозии, истирания, высоких температур и т.п.

Эрозия металлов – постепенное разрушение поверхности металлических изделий в потоке газа или жидкости, а также под влиянием механического воздействия или электрических разрядов.

Эффективность – продуктивность использования ресурсов в достижении какой-либо цели.